高剂量乙氧基喹啉对生长育肥猪生长性能、血清生化指标、抗氧化性能、脏器指数和肉品质的影响

盖向荣　何东亭　杨文军　韩苗苗　来文晴　张丽英*

（中国农业大学动物科学技术学院，北京 100193）

摘　要：本试验旨在研究饲粮添加不同水平乙氧基喹啉对生长育肥猪生长性能、血清生化指标、抗氧化性能、脏器指数和肉品质的影响。选用 180 头体重为（31.98±2.34） kg 三元杂交（杜×长×大）生长猪，随机分为 5 个组，每组 6 个重复，每个重复 6 头猪。试验采用玉米-豆粕型基础饲粮，分别添加 0、150、300、750 和 1 500 mg/kg 乙氧基喹啉，试验期 98 d。结果表明：1）饲粮中添加 150~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉对生长育肥猪的生长性能、脏器指数和肉品质无显著影响（P>0.05）。2）试验第 70 天，血清碱性磷酸酶活性和总胆红素（TBIL）含量随着饲粮中乙氧基喹啉添加量的增加而降低（线性 P＜0.05）。试验第 98 天，血清 TBIL 含量随着饲粮中乙氧基喹啉添加量的增加而增加（线性 P＜0.05）。3）试验第 70 天和第 98 天，各组血清总抗氧化能力以及谷胱甘肽过氧化物酶和过氧化氢酶活性随着饲粮中乙氧基喹啉添加量的增加而降低（线性 P<0.05）。试验第 98 天，各组血清丙二醛含量随着饲粮中乙氧基喹啉添加量的增加而升高（二次 P<0.05）。综上所述，生长育肥猪饲粮中添加 150~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉对生长性能和肉品质无显著影响，饲粮中添加 750 和 1 500 mg/kg 乙氧基喹啉会导致生长育肥猪肝细胞损伤，饲粮中添加 300~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉降低血清抗氧化性能，因此，生长肥育猪饲粮中乙氧基喹啉的推荐量为 150 mg/kg。

关键词：乙氧基喹啉；生长育肥猪；生长性能；血清生化指标；抗氧化性能；脏器指数；肉品质

中图分类号：S816.7　　文献标识码：A　　文章编号：

乙氧基喹啉是目前生产中普遍使用的抗氧化剂，它可以清除饲料储存过程中所产生的自由基，因而广泛用于防止饲料中维生素和脂质的氧化[1]。早期有研究表明，在猪和肉鸡饲粮中添加 125 mg/kg 乙氧基喹啉可以提高机体抗氧化能力[2-3]。然而，也有研究表明，在狗和大鼠饲粮中添加乙氧基喹啉，能引起与健康相关的问题，并且乙氧基喹啉对肝脏和胃肠道的副作用较大；尽管不同动物对乙氧基喹啉的反应存在差异，但当乙氧基喹啉的添加量超过允许的添加量时，多数动物会出现比如日增重下降、肝脏及肾脏损伤和消化道的病变等症状[4]。虽然乙氧基喹啉已经在很多国家和地区被批准作为饲料添加剂使用，美国和欧盟推荐在全价料中推荐添加剂量为 150 mg/kg[4]，我国也参照欧盟等国家标准，规定其在养殖动物（犬以外）的动物的配合饲料中最高限量为 150 mg/kg[5]。但实际上，饲粮中乙氧基喹啉的适宜添加量受动物品种、年龄和饲粮组成等影响。目前，有关饲粮中添加高剂量乙氧基喹啉对生长育肥猪耐受性和肉品质的影响尚未见报道。为了进一步验证 150 mg/kg 限量值[5]对生长肥育猪

收稿日期：2018-02-07

基金项目：农业部农产品质量安全监管专项经费（畜牧）饲料质量与安全监管项目（2016J992）

作者简介：盖向荣（1992-），男，山东青岛人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: 153687017@qq.com

*通信作者：张丽英，研究员，博士生导师，E-mail: zhangliying01@sina.com

的适用性以及高剂量添加的影响效果，本试验依据农业部颁布的《饲料与饲料添加剂畜禽靶动物耐受性评价试验指南》[6]，以生长育肥猪为靶动物，研究饲粮中添加有效剂量及高倍剂量乙氧基喹啉对猪生长性能、血清生化指标、抗氧化指标、脏器指数和肉品质的影响，为乙氧基喹啉在生长肥育猪生产中的安全有效使用提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

乙氧基喹啉购自江苏中丹集团股份有限公司，其中乙氧基喹啉含量≥95%。

1.2　试验动物及设计

选用180头体重为（31.98±2.34） kg三元杂交（杜×长×大）生长猪，按体重和性别区组，随机分为5个组，每组6个重复，每个重复6头猪（公母各占1/2）。试验采用玉米-豆粕型基础饲粮，5组饲粮中分别添加0、150（推荐剂量）、300（2倍剂量）、750（5倍剂量）和1 500 mg/kg（10倍剂量）乙氧基喹啉，试验期为98 d。

1.3　试验饲粮

基础饲粮参考 NRC（2012）猪饲养标准配制，其组成及营养水平见表 1。配制饲粮时，用大豆油对乙氧基喹啉进行逐级稀释放大，混匀后与其他原料混合。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（饲喂基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diets (as-fed basis)　　%

项目 Items	1~5 周 1 to 5 weeks	6~10 周 6 to 10 weeks	11~14 周 11 to 14 weeks
原料 Ingredients			
玉米 Corn	69.32	72.36	74.16
豆粕 Soybean meal	22.29	19.80	17.43
小麦麸 Wheat bran	3.00	3.00	4.00
大豆油 Soybean oil	1.50	1.20	1.20
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.18	1.12	0.84
石粉 Limestone	0.88	0.77	0.80
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30
L-赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys·HCl (78.8%)	0.35	0.30	0.20
L-苏氨酸 *L*-Thr	0.10	0.09	0.04
DL-蛋氨酸 *DL*-Met (98.5%)	0.08	0.06	0.03
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00

营养水平 Nutrient levels[2]			
代谢能 ME/(MJ/kg)	14.24	14.24	14.24
粗蛋白质 CP	17.21	15.46	14.43
钙 Ca	0.66	0.60	0.54
总磷 TP	0.57	0.53	0.49
赖氨酸 Lys	1.12	0.98	0.84

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 6 000 IU，VD_3 1 500 IU，VE 15 IU，VK_3 1.5 mg，VB_1 0.9 mg，VB_2 3 mg，VB_6 1.5mg，VB_{12} 10 μg，烟酸 nicotinic acid 17 mg，泛酸 pantothenic acid 9 mg，叶酸 folic acid 0.32 mg，生物素 biotin 0.02 mg，氯化胆碱 choline chloride 350 mg，Fe ($FeSO_4$) 90 mg，Cu ($CuSO_4$) 8 mg，Mn ($MnSO_4$) 20 mg，Zn ($ZnSO_4$) 50 mg，I (KI) 0.25 mg，Se (Na_2SeO_3) 0.30 mg。

[2)]代谢能为计算值，其余为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.4 饲养管理

试验于 2017 年 1 月至 2017 年 4 月在中国农业大学丰宁动物试验基地（河北丰宁）进行。试验前对猪舍进行彻底消毒，并清洗料槽、水槽，并对试验猪进行常规免疫与驱虫。猪舍温度控制在 21 ℃左右，自由采食与饮水。按常规程序进行消毒。严格遵循猪场饲养和管理制度。

1.5 测定指标及方法

1.5.1 营养成分测定

饲粮中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、粗灰分、钙和总磷含量分别按照 GB/T 6435—2014、GB/T 6432—2014、GB/T 6433—2006、GB/T 6434—2006、GB/T 6438—2007、GB/T 6436—2002 和 GB/T 6437—2002 进行测定。饲粮中赖氨酸含量按照 GB/T 18246—2000 进行测定。

1.5.2 生长性能测定

试验开始时，称量每头猪初始体重，于试验第 70 天和第 98 天早晨空腹称重并结算耗料量，计算平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。

1.5.3 血清生化及抗氧化指标

试验第70天和第98天时，每个重复选取1头体重接近该圈平均值的猪进行前腔静脉采血，采集非抗凝血10 mL，室温下倾斜放置30 min，3 000 r/min离心15 min制备血清，于-20 ℃保存备用。测定血清临床生化指标，包括葡萄糖（GLU）、尿素氮（UN）、肌酐（CREA）、总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、总胆红素（TBIL）含量及碱性磷酸酶（ALP）、天门冬氨酸氨基转移酶（AST）和谷氨酸氨基转移酶（ALT）活性。检测方法为比色法，按照试剂盒（中生北控股份有限公司，中国）说明进行测定，使用仪器为迈瑞BS-420全自动生化仪。测定血清抗氧化指标，包括总抗氧化能力（T-AOC）、

超氧化物歧化酶（SOD）活性、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性、过氧化氢酶（CAT）活性和丙二醛（MDA）含量，检测方法为比色法，按照试剂盒（北京华英生物研究所，中国）说明进行测定，使用仪器为A6半自动生化仪。

1.5.4　脏器指数测定

试验第98天时，每个重复选取1头体重接近该圈平均值的猪，空腹24 h后称其宰前活重，进行屠宰取样，取出心脏、肝脏、脾脏、肺脏和肾脏，用吸水纸吸干表面组织液后称重。脏器指数按以下公式计算：

脏器指数（g/kg）＝内脏重量（g）／宰前活重（kg）。

1.5.5　肉品质测定

肉品质取样和测定参照NY/T 1333—2007《畜禽肉质的测定》[7]进行，测定项目包括滴水损失、蒸煮损失、剪切力、$pH_{45\ min}$、$pH_{24\ h}$和肉色。pH采用便携式酸度计（OPTP-STAR，德国麦特斯公司）测定；肉色用美能达色差计（CR-410，日本美能达公司）测量屠宰后45 min背最长肌的亮度（L*）、红度（a*）和黄度（b*）；剪切力用肌肉嫩度仪（CLM3B，北京天翔飞域仪器设备有限公司）进行测定。

1.6　数据处理与统计分析

试验数据采用 SAS 9.2 统计软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），采用 Duncan 氏法进行多重比较。采用线性模型和二次曲线模型对乙氧基喹啉添加量的影响进行评定。P<0.05 为差异显著。

2　结果与分析

2.1　饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪生长性能的影响

饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪生长性能的影响见表 2。由表可见，试验各组间 ADG、ADFI 及 F/G 均无显著差异（P>0.05）。

表 2　饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪生长性能的影响

Table 2　Effects of dietary ethoxyquin on growth performance of growing-finishing pigs

项目 Items	乙氧基喹啉添加量 Ethoxyquin supplemental level/(mg/kg)					SEM	*P* 值 *P*-value		
	0	150	300	750	1 500		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
第 1~70 天 1 to 70 days									
平均日增重 ADG/g	827	787	804	827	801	19	0.53	0.51	0.27
平均日采食量 ADFI/kg	2.47	2.19	2.10	2.17	2.15	0.13	0.37	0.26	0.13
料重比 F/G	3.02	2.79	2.61	2.63	2.69	0.18	0.49	0.18	0.26

第 71~98 天 71 to 98 days									
平均日增重 ADG/g	936	924	974	966	995	40	0.72	0.55	0.42
平均日采食量 ADFI/kg	3.83	3.79	3.55	3.73	3.59	0.28	0.94	0.80	0.44
料重比 F/G	4.09	4.12	3.72	3.86	3.62	0.32	0.75	0.58	0.35

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same small letter or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪血清生化指标的影响

饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪血清生化指标的影响见表 3。由表可见，试验第 70 天时，血清 ALP 活性和 TBIL 含量随着饲粮中乙氧基喹啉添加量的增加而降低（线性 P＜0.05）。试验第 98 天时，血清 TBIL 含量随着饲粮中乙氧基喹啉添加量的增加而增加（线性 P＜0.05）；同时，血清 ALP 活性随着饲粮中乙氧基喹啉添加量的增加而降低（二次 P＜0.05）。

表 3 饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪血清生化指标的影响

Table 3 Effects of dietary ethoxyquin on serum biochemical indices of growing-finishing pigs

项目 Items	乙氧基喹啉添加量 Ethoxyquin supplemental level/(mg/kg)					SEM	P 值 P-value		
	0	150	300	750	1 500		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
第 70 天 The 70th day									
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	4.91	5.41	4.85	5.13	5.03	0.29	0.69	0.97	0.72
尿素氮 UREA/(mmol/L)	3.97	3.68	3.47	3.64	3.43	0.22	0.43	0.47	0.10
肌酐 CREA/(μmol/L)	93.67	93.24	96.34	94.89	92.11	3.68	0.94	0.64	0.84
总蛋白 TP/(g/L)	53.71	56.69	55.87	55.80	53.25	1.50	0.43	0.46	0.84
白蛋白 ALB/(g/L)	36.57	36.07	36.49	35.69	34.56	1.16	0.74	0.84	0.76
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	131.54[a]	107.74[ab]	113.52[ab]	93.91[b]	88.78[b]	7.91	0.01	0.03	0.22
总胆红素 TBIL/(μmol/L)	15.30[a]	11.15[b]	9.75[bc]	8.61[c]	4.30[d]	0.82	<0.01	<0.01	<0.01
天门冬氨酸氨基转移酶 AST/(U/L)	104.35	73.35	79.40	103.24	118.57	12.82	0.11	0.83	0.45
谷氨酸氨基转移酶 ALT/(U/L)	61.60	56.34	56.46	58.60	51.81	4.04	0.55	0.99	0.21
第 98 天 The 98th day									

葡萄糖 GLU/(mmol/L)	4.68	5.11	4.98	4.62	4.70	4.82	0.64	0.62	0.45
尿素氮 UREA/(mmol/L)	6.75	5.50	6.12	6.28	6.17	0.38	0.29	0.96	0.35
肌酐 CREA/(μmol/L)	112.83	117.91	115.40	117.54	110.10	4.69	0.74	0.56	0.78
总蛋白 TP/(g/L)	60.72	62.18	61.85	62.86	60.16	1.25	0.59	0.26	0.77
白蛋白 ALB/(g/L)	34.40	34.25	35.69	36.02	34.57	0.90	0.53	0.11	0.79
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	233.73^{a}	197.56^{ab}	192.40^{ab}	215.72^{a}	165.96^{b}	14.83	0.04	0.93	0.02
总胆红素 TBIL/(μmol/L)	7.87^{b}	6.39^{b}	12.49^{b}	29.55^{a}	34.73^{a}	2.14	<0.01	<0.01	0.14
天门冬氨酸氨基转移酶 AST/(U/L)	89.23	97.70	78.27	85.63	84.57	8.17	0.52	0.45	0.38
谷氨酸氨基转移酶 ALT/(U/L)	60.84	54.43	56.41	59.31	52.27	3.81	0.54	0.70	0.21

2.4 饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪血清抗氧化指标的影响

饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪血清抗氧化指标的影响见表 4。由表可见，试验第 70 天时，试验各组的血清 T-AOC 以及 SOD、GSH-Px 和 CAT 活性随着饲粮中乙氧基喹啉添加量的增加而降低（线性 P<0.05）；与对照组相比，饲粮添加 300~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉显著降低了血清 T-AOC 以及 SOD、GSH-Px 和 CAT 活性（P<0.05）。试验第 98 天时，试验各组的血清 T-AOC 以及 GSH-Px 和 CAT 活性随着饲粮中乙氧基喹啉添加量的增加而降低（线性 P<0.05），试验各组的血清 MDA 含量随着饲粮中乙氧基喹啉添加量的增加而升高（二次 P<0.05）；与对照组相比，饲粮添加 750 mg/kg 乙氧基喹啉显著降低了血清 T-AOC 以及 GSH-Px 和 CAT 活性（P<0.05），饲粮添加 750 和 1 500 mg/kg 乙氧基喹啉显著提升了血清 MDA 含量（P<0.05）。

表 4 饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪血清抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of dietary ethoxyquin on serum antioxidant indices of growing-finishing pigs

项目 Items	乙氧基喹啉添加量 Ethoxyquin supplemental level/(mg/kg)					SEM	P 值 P-value		
	0	150	300	750	1 500		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
第 70 天 The 70th day									
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	10.21^{a}	10.04^{ab}	9.39^{bc}	9.11^{dc}	8.50^{d}	0.26	<0.01	0.02	0.02
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	86.99^{a}	80.82^{ab}	75.14^{bc}	69.66^{dc}	65.88^{d}	2.77	<0.01	<0.01	0.01
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	1 301.42^{a}	1 220.89^{a}	809.99^{b}	787.95^{b}	763.63^{b}	40.11	<0.01	<0.01	<0.01
过氧化氢酶	35.02^{a}	32.37^{ab}	29.07^{b}	28.95^{b}	27.54^{b}	1.65	0.03	0.04	0.03

CAT/(U/mL)									
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	2.86	3.25	3.39	3.68	3.81	0.27	0.15	0.11	0.25
第 98 天 The 98th day									
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	12.60^{a}	11.73^{a}	10.96^{a}	9.31^{b}	11.40^{a}	0.54	<0.01	<0.01	0.86
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	83.40	78.75	74.67	69.68	79.07	6.59	0.71	0.19	0.83
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	771.04^{a}	767.80^{a}	740.20^{ab}	707.97^{b}	764.12^{a}	13.54	0.02	<0.01	0.82
过氧化氢 CAT/(U/mL)	47.56^{a}	44.22^{ab}	42.12^{ab}	38.85^{b}	44.93^{a}	1.90	0.05	<0.01	0.69
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	3.75^{c}	3.81^{c}	4.08^{bc}	4.37^{b}	5.31^{a}	0.16	<0.01	0.08	<0.01

2.5 饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪脏器指数的影响

饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪脏器指数的影响见表 5。由表可见，与对照组相比，生长育肥猪饲粮中添加 150~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉对生长育肥猪脏器指数无显著影响（P>0.05）。

表 5　饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪脏器指数的影响

Table 5　Effects of dietary ethoxyquin on organ indices of growing-finishing pigs　　g/kg

项目 Items	乙氧基喹啉添加量 Ethoxyquin supplemental level/(mg/kg)					SEM	*P* 值 *P*-value		
	0	150	300	750	1 500		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
心脏指数 Heart index	3.42	3.50	3.60	3.58	3.28	0.13	0.44	0.26	1.00
肝脏指数 Liver index	15.95	17.20	15.66	16.88	17.92	1.06	0.56	0.98	0.96
脾脏指数 Spleen index	1.71	1.70	1.79	1.55	1.46	0.15	0.53	0.65	0.83
肺脏指数 Lung index	6.88	5.91	7.08	7.25	7.25	0.63	0.55	0.38	0.83
肾脏指数 Kidney index	2.80	2.46	2.69	2.87	2.46	0.11	0.06	0.10	0.08

2.6 饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪肉品质的影响

饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪肉品质的影响见表 6。由表可见，试验各组间滴水损失、蒸煮损失、剪切力、pH 和肉色无显著差异（P>0.05）。

表 6 饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪肉品质的影响

Table 6 Effects of dietary ethoxyquin on meat quality of growing-finishing pigs

项目 Items	乙氧基喹啉添加量 Ethoxyquin supplemental level/(mg/kg)					SEM	P 值 P-value		
	0	150	300	750	1 500		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
滴水损失 Drip loss/%	1.65	1.75	1.36	1.57	1.66	0.20	0.76	0.50	0.47
蒸煮损失 Cooking loss/%	26.12	26.91	24.21	27.20	27.02	1.14	0.35	0.89	0.23
剪切力 Shear force/N	35.87	39.06	38.14	38.42	41.60	2.69	0.68	0.87	0.41
$pH_{45\ min}$	6.17	6.11	6.25	6.31	6.30	0.11	0.64	0.29	0.70
$pH_{24\ h}$	5.68	5.64	5.71	5.65	5.64	0.04	0.59	0.97	0.62
肉色 Meat color									
亮度 L*	44.86	45.20	44.59	44.61	44.02	0.88	0.91	0.81	0.68
红度 a*	16.12	15.97	15.69	15.20	16.12	0.65	0.83	0.26	0.88
黄度 b*	2.46	2.68	2.28	1.99	2.29	0.25	0.41	0.09	0.96

3 讨 论

3.1 饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪生长性能的影响

有关饲粮添加乙氧基喹啉对猪生长性能影响的报道较少。早先有研究表明在饲粮中添加 150 和 1 500 mg/kg 乙氧基喹啉显著降低了断奶仔猪的生长性能（ADG 和 ADFI）[4]。另外，Lu 等[8]研究发现，在饲粮中添加 135 mg/kg 乙氧基喹啉和没食子酸丙酯混合物对断奶仔猪生长性能无显著影响，但显著降低了生长育肥猪的 ADFI 和饲料转化率。本研究结果表明，在生长育肥猪饲粮中添加 150~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉对生长育肥猪生长性能没有显著影响。

3.2 饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪血清生化指标的影响

有研究表明，血液中 ALP 活性的异常可能表明机体出现与肝脏、胆囊或骨骼有关的问题，肝脏压力变大可能引起血液 ALP 活性的升高[4]。胆红素是由脊椎动物的血红素经正常代谢途径分解产生，TBIL 含量升高表明动物体可能存在某些疾病[9]。目前报道的关于乙氧基喹啉对胆红素的影响的结果并不一致。有研究报道在断奶仔猪饲粮中添加 150~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉对血清 TBIL 含量没有显著影响[4]，也有研究表明在大鼠饲粮中添加 200、400、500 和 1 000 mg/kg 乙氧基喹啉能提高血清中 TBIL 含量[4]。根据默克兽医手册[10]，猪血清中 ALP 正常活性为 118~395 U/L，TBIL 正常含量为 0~17.1 μmol/L。本试验中，试验第 70 天的血清 TBIL 含量和第 98 天的血清 ALP 活性虽然受到饲粮中乙氧基喹啉的影响，但是其水平均处于正常参考范围内。然而，饲粮中添加 750 和 1 500 mg/kg 乙氧基喹啉时，试验第 70 天的血清 ALP 活性（低于正常水平）和第 98 天的血清 TBIL 含量（高于正常水平）均不在正常参考范围内。有研究报道，TBIL 含量的升高程度与肝细胞的损伤程度成正比[11]。由此推断，饲粮中添加 750~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉可能会导致生长育肥猪肝细胞损伤。

3.3 饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪血清抗氧化指标的影响

机体的抗氧化状态在维持动物健康、生长性能和繁殖性能方面都有着重要作用[12]。动物机体的抗氧化状态必须保持一定的平衡，过高或过低都会影响机体健康[13]。T-AOC 是体内各种氧化和抗氧化物质共同作用的结果，是反映机体总体抗氧化能力强弱的综合指标。SOD 是机体内广泛存在的一种内源抗氧化酶，具有清除自由基的作用。MDA 为脂质过氧化代谢的产物，是反映脂质过氧化程度的重要指标[14]。据报道，乙氧基喹啉可能对虹鳟鱼[15]和家禽[16]具有抗氧化作用。Lu 等[8]研究发现在生长育肥猪饲粮中补充 135 mg/kg 乙氧基喹啉和没食子酸丙酯混合物可提高其血浆和肝脏的抗氧化能力。本研究发现，随着饲粮中乙氧基喹啉添加量的增加，血清中抗氧化能力呈降低趋势，且饲粮添加 300~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉时与对照组产生显著差异，这表明机体抵御氧化损伤的能力减弱了，可能对生长育肥猪有不利影响。另有研究表明，乙氧基喹啉与其他抗氧化剂一样，饲粮中添加剂量太高反而会起到促进氧化的作用[4]。Błaszczyk 等[17]研究显示，溶解状态下的乙氧基喹啉可能一部分以自由基形式存在，因此，乙氧基喹啉的氮氧自由基像其他氮氧自由基一样具有氧化属性。因此，推断使用过高剂量的乙氧基喹啉可导致较多自由氧的形成，从而导致抗氧化酶活降低和氧化产物 MDA 含量的升高，但具体机理还有待进一步研究。

3.4 饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪脏器指数的影响

动物的器官指数是一项生物学特征指标，在一定程度上反映机体的机能状况，对于理论实践和生产具有重要意义。Parke 等[18]研究报道了在大鼠饲粮中添加乙氧基喹啉可以增加肝脏指数，Bailey 等[19]研究表明在鸡饲粮中添加 1 000 mg/kg 乙氧基喹啉增加了其肝脏指数。而本研究表明，在生长育肥猪饲粮中添加 150~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉对其脏器指数没有显著影响，这可能是由于试验动物的种类不同所致。此外，本实验室同时也评价了乙氧基喹啉对断奶仔猪脏器指数的影响，结果显示饲粮添加 750 和 1 500 mg/kg 乙氧基喹啉显著增加了断奶仔猪的肝脏指数，比对照组分别增加了 11.16%和 27.09%（未发表数据）。因此，脏器指数的结果也受试验猪日龄的影响。

3.5 饲粮添加乙氧基喹啉对生长育肥猪肉品质的影响

猪肉品质评定常用肉色、pH、滴水损失、蒸煮损失和剪切力等指标评定，这些指标是感官和食用适口性的综合反映，决定着顾客的消费取向。肉色主要由肌红蛋白和血红蛋白含量决定，肌红蛋白的含量受多种因素制约，使肉色呈现由灰白到暗红的差异[20]。Tavárez 等[21]研究表明，在罗斯 308 肉鸡饲粮中添加 135 mg/kg 抗氧化剂（乙氧基喹啉和没食子酸丙酯混合物）对胸肌的肉色没有显著影响，但目前还没有研究报道乙氧基喹啉对生长育肥猪肉色的影响。在本试验中，生长育肥猪饲粮添加 150~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉对肉品质无显著影响。

3.6 推荐用量

鉴于生长育肥猪饲粮中添加 300~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉降低了血清抗氧化能力，750 和 1 500 mg/kg 乙氧基喹啉可导致生长育肥猪肝细胞损伤，生长肥育猪饲粮中乙氧基喹啉的推荐量为 150 mg/kg。

4 结　论

① 饲粮中添加 150~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉对生长育肥猪生长性能和肉品质无显著影响。

② 饲粮中添加 750 和 1 500 mg/kg 乙氧基喹啉会导致生长育肥猪肝细胞损伤。

③ 饲粮中添加 300~1 500 mg/kg 乙氧基喹啉降低了生长育肥猪血清抗氧化能力。

④ 生长育肥猪饲粮中乙氧基喹啉的推荐量为 150 mg/kg。

参考文献：

[1] DE KONING A J.The antioxidant ethoxyquin and its analogues:a review[J].International Journal of Food Properties,2002,5(2):451–461.

[2] DIBNER J J,ATWELL C A,KITCHELL M L,et al.Feeding of oxidized fats to broilers and swine:effects on enterocyte turnover,hepatocyte proliferation and the gut associated lymphoid tissue[J].Animal Feed Science and Technology,1996,62(1):1–13.

[3] FERNANDEZ-DUEÑAS D M.Impact of oxidized corn oil and synthetic antioxidant on swine performance,antioxidant status of tissues,pork quality and shelf life evaluation[D].Ph.D Thesis.Illinois State:University of Illinois at Urbana-Champaign,2009:2–4.

[4] EFSA Panel on Additives and Products or Substances Used in Animal Feed (FEEDAP).Safety and efficacy of ethoxyquin (6-ethoxy-1,2-dihydro-2,2,4-trimethylquinoline) for all animal species[J].EFSA Journal,2015,13(11):4272.

[5] 中华人民共和国农业部.中华人民共和国农业部公告第 2625 号《饲料添加剂安全使用规范》[EB/OL](2017-12-15).http://www.moa.gov.cn/govpublic/XMYS/201712/t20171227_6126064.htm.

[6] 中华人民共和国农业部.饲料和饲料添加剂畜禽靶动物耐受性评价指南(试行)[R].北京:中华人民共和国农业部,2011.

[7] 中华人民共和国农业部.NY/T 1333—2007 畜禽肉质的测定[S].北京:中华人民共和国农业部,2007.

[8] LU T,HARPER A F,ZHAO J,et al.Supplementing antioxidants to pigs fed diets high in oxidants: Ⅰ.Effects on growth performance,liver function,and oxidative status[J].Journal of Animal Science,2014,92(12):5455–5463.

[9] PIRONE C,QUIRKE J M,PRIESTAP H A,et al.Animal pigment bilirubin discovered in plants[J].Journal of the American Chemical Society,2009,131(8):2830.

[10] DOYLE K A,GORDON H.Merck veterinary manual[J].Canadian Veterinary Journal,2010,70(7):278.

[11] GOWDA S,DESAI P,HULL V,et al.A review on laboratory liver function tests[J].The Pan African Medical Journal,2009,3:17.

[12] SURAI P F.Selenium in poultry nutrition. Ⅰ.Antioxidant properties,deficiency and toxicity[J].World's Poultry Science Journal,2002,58(3):333–347.

[13] SIES H.Oxidative stress:oxidants and antioxidants[J].Experimental Physiology,1997,82(2):291–295.

[14] 贾聪慧,杨彩梅,曾新福,等.丁酸梭菌对肉鸡生长性能、抗氧化能力、免疫功能和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(3):908–915.

[15] HUNG S S,CHO C Y,SLINGER S J.Effect of oxidized fish oil,dl-α-tocopheryl acetate and ethoxyquin supplementation on the vitamin e nutrition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed practical diets[J].The Journal of Nutrition,1981,111(4):648–657.

[16] WANG S Y,BOTTJE W,MAYNARD P,et al.Effect of santoquin and oxidized fat on liver and intestinal glutathione in broilers[J].Poultry Science,1997,76(7):961–967.

[17] BŁASZCZYK A,AUGUSTYNIAK A,SKOLIMOWSKI J.Ethoxyquin:an antioxidant used in animal feed[J].International Journal of Food Science,2013,2013:585931.

[18] PARKE D V,RAHIM A,WALKER R.Reversibility of hepatic changes caused by ethoxyquin[J].Biochemical Pharmacology,1974,23(13):1871–1876.

[19] BAILEY C A,SRINIVASAN L J,MCGEACHIN R B.The effect of ethoxyquin on tissue peroxidation and immune status of single comb white leghorn cockerels[J].Poultry Science,1996,75(9):1109–1112.

[20] 戎婧,季香,姜建兵,等.不同粗纤维水平的饲粮对肥育准猪肉质的影响[J].养猪,2011(1):41–42.

[21] TAVÁREZ M A,BOLER D D,BESS K N,et al.Effect of antioxidant inclusion and oil quality on broiler performance,meat quality,and lipid oxidation[J].Poultry Science,2011,90(4):922–930.

Effects of High Dose of Ethoxyquin on Growth Performance, Serum Biochemical Indices, Antioxidant Capacity, Organ Index and Meat Quality of Growing-Finishing Pigs

GAI Xiangrong HE Dongting YANG Wenjun HAN Miaomiao LAI Wenqing ZHANG Liying*

(*College of Animal Science and Technology*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100193, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to examine the effects of different supplemental levels of ethoxyquin (EQ) on growth performance, serum biochemical indices, antioxidant capacity, organ index and meat quality of growing-finishing pigs. A total of 180 Duroc×Landrace×Yorkshire pigs with (31.98±2.34) kg average body weight were randomly assigned to 5 groups with 6 replicates of 6 pigs each. Pigs in 5 groups were fed corn-soybean meal basal diets supplemented with 0, 150, 300, 750 and 1 500 mg/kg EQ, respectively. The trail lasted for 98 days. The results showed as follows: 1) supplementation with 150 to 1 500 mg/kg EQ had no significant effects on growth performance, organ index and meat quality of growing-finishing pigs ($P>0.05$). 2) Serum alkaline phosphatase activity and total bilirubin (TBIL) content were decreased with EQ supplemental level increasing on day 70 of the trail (linear, $P<0.05$). Serum TBIL content was increased with EQ supplemental level increasing on day 98 of the trail (linear, $P<0.05$). 3) Serum total antioxidant capacity, activities of glutathione peroxidase and catalase were decreased with EQ supplemental level increasing on day 70 and day 98 of the trail (linear, $P<0.05$). Serum malondialdehyde

content was increased with EQ supplemental level increasing on day 98 of the trail (quadratic, $P<0.05$). These results indicate that supplementation with 150 to 1 500 mg/kg EQ has no significant effects on growth performance and meat quality of growing-finishing pigs, supplementation with 750 and 1 500 mg/kg EQ can lead to liver cell damage of growing-finishing pigs, and supplementation with 300 to 1 500 mg/kg EQ can reduce the serum antioxidant capacity. Therefore, the recommended dose of EQ is 150 mg/kg in diets for growing-finishing pigs.

Key words: ethoxyquin; growing-finishing pigs; growth performance; serum biochemical indices; antioxidant capacity; organ index; meat quality

---

*Corresponding author, professor, E-mail: zhangliying01@sina.com (责任编辑 田艳明)